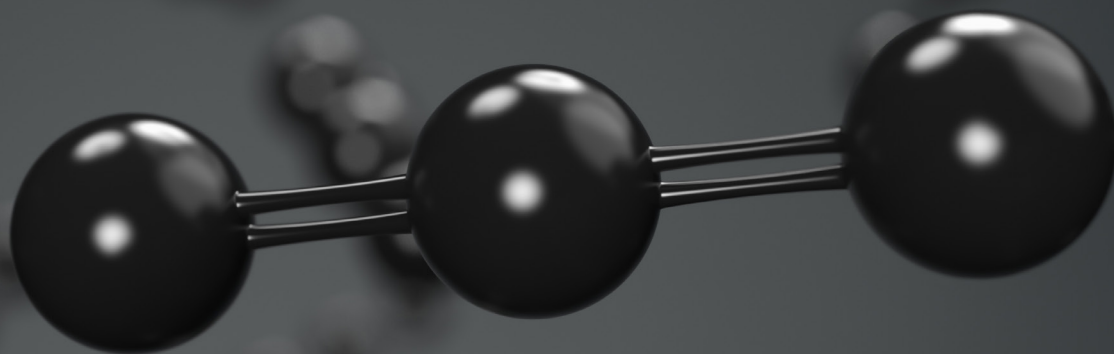


Kennisbundel kooldioxide



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2022). *Kennisbundel kooldioxide* Arnhem: IFV.

Titel:	Kennisbundel kooldioxide
Datum:	17 februari 2022
Versie:	1.0
Auteur en projectleider:	dr. M. Spoelstra
Review en eindverantwoordelijk:	dr.ir. N. Rosmuller

Inhoud

	Inleiding	4
1	Afvang, transport en opslag van CO₂	5
1.1	CO ₂	5
1.2	Carbon capture storage (CCS)	6
1.3	Gebruik van CO ₂	7
2	Wet- en regelgeving	9
2.1	Huidige wet- en regelgeving	9
2.2	Toekomstige wetgeving	10
3	Vergunningverlening	12
3.1	Bevoegd gezag	12
3.2	Meldingen, vergunningen en ontheffingen	12
4	Beperken van gevaren	14
4.1	Gevaren	14
4.2	Risicobeheersing	15
4.3	Incidentbestrijding	16
5	Overige informatie	17

Inleiding

Veel initiatieven met nieuwe energiedragers en -bronnen vinden plaats op lokaal of regionaal niveau. Omdat in veel gevallen geen wet- en regelgeving beschikbaar is die betrekking heeft op de veiligheid van dergelijke initiatieven, vinden afwegingen veelal plaats op lokaal of regionaal niveau. Enerzijds leidt dit tot inefficiëntie (het wiel wordt steeds weer opnieuw uitgevonden) en anderzijds bestaat het risico van inconsistentie in de besluitvorming. Er is daarom behoefte aan het ontsluiten van kennis over goede uitvoeringspraktijken van het gebruik van nieuwe energiedragers en -bronnen.

In 2020 heeft het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) het project 'Kenniscbundeling VET' (Veilige Energietransitie) uitgevoerd met als doel nieuwe en bestaande kennis over veiligheidsaspecten rondom de energietransitie te bundelen en te ontsluiten. Het IFV heeft hierin samengewerkt met het Kenniscentrum InfoMil¹ en met het netwerk Externe veiligheid Relevant². In dat project zijn over vier onderwerpen kennisbundels opgesteld met beknopte beschrijvingen over wet- en regelgeving, vergunningen, pilots en veiligheidsmaatregelen. De kennisbundels maken de lezer wegwijs in de veiligheidsrelevante facetten van de energietransitie.

De doelgroep van de kennisbundels bestaat met name uit de adviseurs van bevoegd gezagen, te weten veiligheidsregio's en omgevingsdiensten. Zij adviseren gemeenten over (omgevings)veiligheidsvraagstukken rondom de energietransitie. Om zich de deelonderwerpen verder eigen te maken, kan de lezer gebruik maken van de documenten en websites waarnaar verwezen wordt.

In 2021 is een tweede project van start gegaan waarin zes nieuwe kennisbundels worden geschreven over onderwerpen die ook een relatie hebben met de veilige energietransitie. Deze kennisbundel maakt daar deel van uit. Het onderwerp van deze kennisbundel is *kooldioxide (CO₂)* waarbij de nadruk ligt op het afvangen, transporteren en opslaan van CO₂. De emissie van CO₂ en doorwerking daarvan op het klimaat maken geen deel uit van deze kennisbundel, evenmin als het gebruik van CO₂ als koelmiddel, als groeimiddel in kassen, als consumptiemiddel in frisdranken en als blusmiddel.

Een kennisbundel is een document dat in beheer komt van het IFV. Dit garandeert dat de inhoud van de kennisbundel (periodiek) geactualiseerd wordt als daar aanleiding toe is.

¹ Zie [website](#) van Infomil.

² Zie [website](#) van Relevant.

1 Afvang, transport en opslag van CO₂

1.1 CO₂

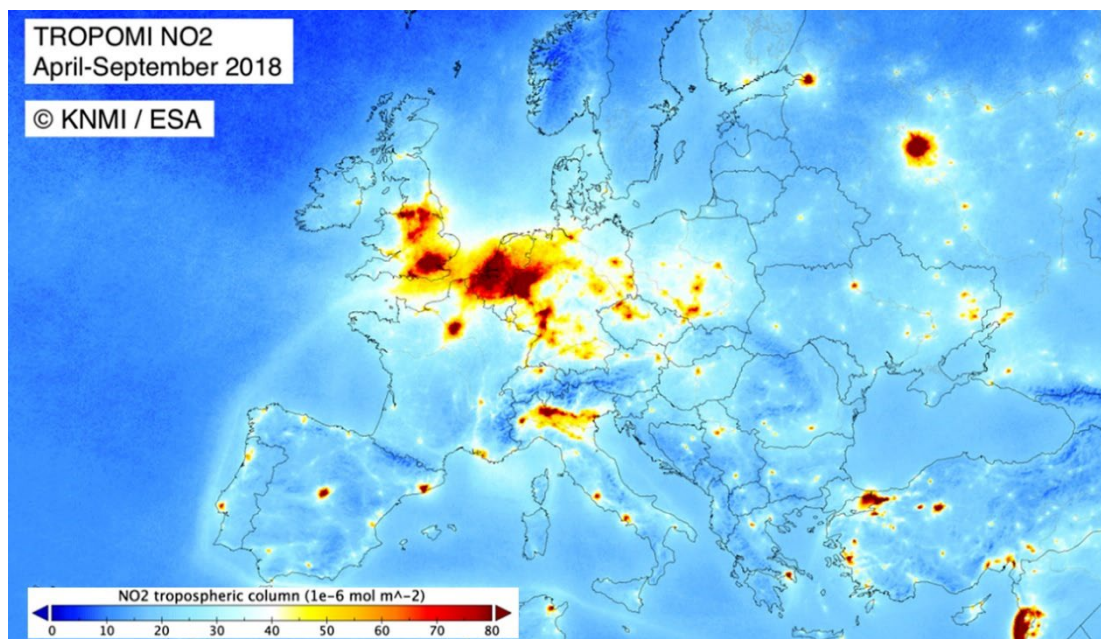
Kooldioxide (CO₂) is één van de gassen die voor de opwarming van de aarde zorgen. Door verbranding van fossiele brandstoffen en door ontbossing komt er veel extra CO₂ vrij in de atmosfeer. Dit versterkt het broeikaseffect en zorgt voor een warmer klimaat. Het voorkomen van de uitstoot van CO₂ en het opvangen en opslaan van CO₂ krijgen daarom de laatste decennia veel aandacht van milieuorganisaties, overheden en bedrijven.

Enkele belangrijke eigenschappen van CO₂ zijn:

- > CO₂ is bij kamertemperatuur gasvormig en zwaarder dan lucht.
- > CO₂ is kleurloos, smaakloos en reukloos.
- > CO₂ is niet ontvlambaar.
- > Bij -79 °C en atmosferische druk gaat gasvormig CO₂ over in vast CO₂ ('droog ijs').
- > CO₂ wordt boven 31 °C en 74 bar 'superkritisch' en is dan qua dichtheid als een vloeistof en qua viscositeit als een gas.

Documentatie:

- > Uitleg van het KNMI over het [broeikaseffect](#) en over [CO₂ als broeikasgas](#).
- > Lindegas (2010). [Werken met kooldioxide](#).
- > Informatie over het [Porthos](#)-project en het [Aramis](#)-project.



Figuur 1.1 Satellietmetingen van stikstofdioxide (NO₂). NO₂ is een marker voor CO₂.
(Bron: [KNMI](#))

1.2 Carbon capture storage (CCS)

Om de uitstoot van CO₂ te beperken, zet het kabinet onder andere in op het afvangen, transporteren en opslaan van CO₂ in lege gasvelden op de Noordzee (Carbon Capture Storage (CCS)). Belangrijke projecten in Nederland op het gebied van CCS zijn de 'drie musketiers'-projecten: Porthos, Athos en Aramis.³

Afvangen CO₂

Het afvangen van CO₂ kan op drie manieren gebeuren:

- > Naverbranding: hierbij wordt CO₂ na de verbranding uit de rookgassen verwijderd en afgescheiden.
- > Voorverbranding: brandstoffen worden omgezet naar een mengsel van CO₂ en waterstof, waarna CO₂ wordt afgevangen en alleen waterstof verbrandt.
- > Stikstofloze verbranding: verbranding vindt plaats met zuiver zuurstof (oxyfuel) in plaats van lucht. Het aandeel CO₂ in afvalgas is dan groter en maakt afvangen makkelijker.



Figuur 1.2 Plant in Mongstad (Noorwegen) voor het uitvoeren van testen met betrekking tot het afvangen van CO₂. (Bron: TCM)

Transport van CO₂

Het afgevangen CO₂ wordt door de leverancier op druk gebracht (25 - 35 bar) en via een transportleiding naar een compressorstation aan de kust vervoerd. Daar wordt de druk verder verhoogd (60 - 130 bar) voordat het CO₂ via een transportleiding naar de opslaglocatie in de Noordzee wordt gebracht. Bij een druk van meer dan 74 bar is CO₂ superkritisch.

Grote bedrijven die CO₂ afvangen, kunnen als locatie fungeren waar afgevangen CO₂ van andere bedrijven in Nederland naar wordt aangevoerd. Er zijn plannen om dit transport over de weg te laten

³ ATHOS staat voor 'Amsterdam-IJmuiden CO₂ Transport Hub and Offshore Storage' en is een samenwerkingsverband van Gasunie, Energie Beheer Nederland (EBN), Tata Steel en Port of Amsterdam. Dit project is in september 2021 gestopt. PORTHOS staat voor 'Port of Rotterdam CO₂ Transport Hub and Offshore Storage' en is een samenwerkingsverband tussen de Gasunie, EBN en het Havenbedrijf Rotterdam. ARAMIS is een samenwerkingsverband van Gasunie, EBN, TotalEnergies en Shell Nederland.

plaatsvinden. Dit is toegestaan, omdat CO₂ binnen Basisnet niet als gevaarlijke stof wordt gezien, maar heeft als consequentie dat er geen zicht is op deze vervoerstromen.

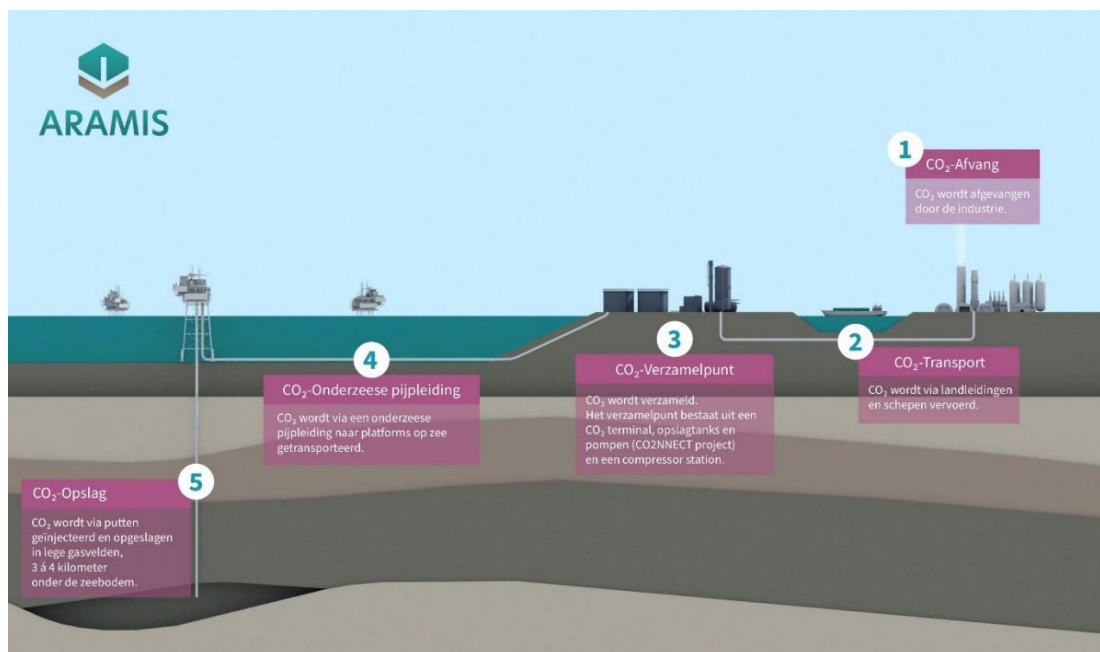
Opslag van CO₂

Het grootste deel van het afgevangen CO₂ wordt opgeslagen, omdat de markt voor hergebruik relatief beperkt is. CO₂ kan worden opgeslagen in geologische formaties zoals lege olie- en gasvelden en zoutwaterlagen (aquifer).

De technieken om CO₂ te injecteren in olie- en gasvelden zijn bekend, omdat bij de winning van olie en gas vaak CO₂ geïnjecteerd wordt om een grotere opbrengst te krijgen. De injectie van CO₂ in zoutwaterlagen is vergelijkbaar met de injectie in olie- en gasvelden.

Documentatie:

- > Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2005). [Carbon dioxide capture and storage](#).
- > RoyalHaskoningDHV (2020). MER Porthos - CO₂ transport en opslag - [Deelrapport Technische beschrijving](#).
- > RvO (2022). [Aramis](#)
- > Lysen, E.H. et al (2006). [Afvang en opslag van CO₂](#).
- > Energiebeheer Nederland en Gasunie (2018). [Transport en opslag van CO₂ in Nederland](#).
- > [Kennissen](#) en [ervaringen](#) met het ondergronds opslaan van CO₂ in de aquifer van Utsira (Noorwegen).
- > Global CCS Institute (2021). [Global status of CCS 2021](#).



Figuur 1.3 De CCS-keten in het Aramis-project (bron: [Aramis](#))

1.3 Gebruik van CO₂

Een deel van het afgevangen CO₂ wordt niet opgeslagen, maar voor diverse doeleinden gebruikt. Dit wordt Carbon Capture Usage (CCU) genoemd. Toepassingen zijn:

- > In de glastuinbouw groeien planten sneller en beter met behulp van CO₂. Dit wordt met de leiding van OCAP aangevoerd (OCAP: Organic CO₂ for Assimilation by Plants).
- > In de frisdrankenindustrie wordt CO₂ in dranken geïnjecteerd om meer smaak en sprankeling te krijgen (carboniseren).
- > CO₂ wordt als koudemiddel toegepast in airco's, warmtepompen en koelsystemen.
- > CO₂ wordt als blusmiddel gebruikt.

Een ontwikkeling die nog in de kinderschoenen staat, is 'e-refinery'. Hierbij wordt CO₂ als grondstof gebruikt voor de productie van koolwaterstoffen. Afgevangen CO₂ en water worden met behulp van groene stroom in een elektrochemisch proces omgezet in waterstof en koolmonoxide. Deze stoffen zijn de bouwstenen om in vervolgstappen (Fischer-Tropsch synthese) tot langere koolwaterstoffen te komen.

In deze kennisbundel wordt verder niet ingegaan op het gebruik van CO₂.

Documentatie:

- > Website van OCAP Nederland over [levering CO₂](#) aan de glastuinbouw.
- > Website van Air Liquide over het [carboniseren](#) van frisdranken.
- > Website van de TU Delft over [e-refinery](#).

2 Wet- en regelgeving

De belangrijkste wet- en regelgeving met betrekking tot het transporteren en opslaan van CO₂ wordt hieronder toegelicht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen huidige en toekomstige wet- en regelgeving.

2.1 Huidige wet- en regelgeving

CCS

- > **Mijnbouwwet** – Voor het opslaan van CO₂ op het Nederlands continentaal plat is een vergunning nodig van de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK, art. 25). De procedure hiervoor is opgenomen in hoofdstuk 3 van de Mijnbouwwet.
 - **Mijnbouwbesluit** – Het Mijnbouwbesluit geeft aan wat onder een mijnbouwwerk wordt verstaan. Paragraaf 3.2 geeft aan wat in het opslagplan moet staan en paragraaf 3.5 geeft aanvullende bepalingen voor transport en het permanent opslaan van CO₂. Voor de aanleg van een CO₂-leiding is een vergunning nodig van EZK (art. 94).
 - **Mijnbouwregeling** – De Mijnbouwregeling beschrijft hoe vergunningen moeten worden aangevraagd en hoe verkenningsonderzoek plaats moet vinden. Artikel 3.2 geeft aan dat bijgehouden moet worden hoeveel CO₂ wordt opgeslagen en artikel 10 geeft regels voor CO₂-leidingen.
 - **Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm)** – In het Barmm zijn regels opgenomen voor mobiele (tijdelijke) boorinstallaties. Artikel 7 verplicht de uitvoerder om voorafgaand aan de boring een melding te doen.
- > **Wet milieubeheer (Wm)** – Deze wet bepaalt wanneer bedrijven over een milieuvergunning moeten beschikken en welk bevoegd gezag welke vergunningen verleent.
 - **Besluit risico zware ongevallen (Brzo)**⁴ – Het Brzo stelt eisen aan bedrijven waar met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen wordt gewerkt. De eisen hebben betrekking op het voorkomen en beheersen van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen betrokken zijn.

Omdat CO₂ niet brandbaar en niet acuut toxisch is, zijn in bijlage 1 van Seveso Richtlijn 2012/18/EU geen drempelwaarden opgenomen voor CO₂. Wel kan de inrichting waar CO₂ wordt afgevangen vallen onder het Brzo op basis van stoffen die op de inrichting aanwezig zijn.
 - **Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb)**⁴ – Het Bevb geeft aan dat de afstand tot het plaatsgebonden risico van 10⁻⁶ jaar van een nieuw aan te leggen CO₂-leidingen maximaal vijf meter mag zijn (art. 6).
 - **Regeling externe veiligheid buisleidingen (Revb)** – Het Revb geeft dat een CO₂-leiding met een buitendiameter van minimaal 70 mm of een binnendiameter van minimaal 50 mm en druk van minimaal 16 bar onder het Bevb valt (art. 2).
 - **Regeling handel in emissierechten** – Bedrijven die onder de Wet milieubeheer vallen en CO₂ uitstoten en/of transporteren, hebben een emissievergunning nodig van de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).

⁴ Het Brzo en het Bevb vallen niet alleen onder de Wet milieubeheer, maar ook onder de Wet ruimtelijke ordening.

- > **Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo)** – Voor het oprichten of veranderen van een (mijnbouw)inrichting is een omgevingsvergunning milieu nodig. Voor CCS is dat bijvoorbeeld het geval bij een compressor en bij een injectieplatform (wanneer het platform zich althans binnen de 12 mijls-zone bevindt).
- > **Besluit milieueffectrapportage (Besluit-m.e.r.)** – Dit besluit stelt dat een milieueffectrapportage uitgevoerd moet worden voor het oprichten, wijzigen en uitbreiden van het transport van CO₂ door middel van buisleidingen en het ondergronds opslaan van CO₂.
- > **Waterwet** – Hoofdstuk 6 van deze wet geeft aan dat een watervergunning nodig is voor handelingen in de Noordzee, handelingen met betrekking tot waterstaatswerken en voor het brengen van stoffen in water.

Afhankelijk van de geografische ligging van een CCS-project kunnen andere wetgevingen van toepassing zijn. Een voorbeeld hiervan is de Wet Natuurbescherming voor het verkrijgen van een ontheffing wanneer beschermde dieren en planten worden bedreigd.

Documentatie:

- > CATO2 (2012). [Permitting needs for CCS operations in the Netherlands](#).
- > [Overzicht](#) van Europees en nationaal beleid op het gebied van CO₂-opslag.
- > RoyalHaskoningDHV (2020). MER Porthos - CO₂ transport en opslag - [Deelrapport Milieueffecten](#).
- > Velin (2018). [Relevante wet- en regelgeving bij leidingen met gevaarlijke stoffen](#).



Figuur 2.1 Rook van kolencentrale (foto: Shutterstock)

2.2 Toekomstige wetgeving

De Omgevingswet bundelt en moderniseert de wetten voor de fysieke leefomgeving. Met de komst van de Omgevingswet per 1 juli 2022 gaat een deel van de hierboven beschreven (milieu)regelingen ongewijzigd over in de besluiten die onder de Omgevingswet vallen. De

Mijnbouwwet komt niet onder de Omgevingswet te vallen, maar wordt op een aantal punten wel aangepast.⁵

Het afvangen van CO₂ voor ondergrondse opslag wordt in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) gezien als een milieubelastende activiteit (art. 3.47) waarvoor een omgevingsvergunning nodig is (art. 3.48). Hetzelfde geldt voor het opslaan van CO₂ (respectievelijk art. 3.320 en art. 3.321). De regels die gelden voor deze activiteiten, gelden ook voor 'functioneel ondersteunende activiteiten'.

Uit de Nota van Toelichting van het Bkl:

'De richtlijn industriële emissies verplicht niet tot afvang en opslag van kooldioxide, maar wel dat de mogelijkheid wordt opgehouden. Bij nieuwe installaties dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid om CCS toe te gaan passen. De daarvoor benodigde ruimte moet worden vrijgehouden, zodat bij een eventuele toekomstige verplichting tot CCS implementatie van deze nieuwe techniek mogelijk is. Deze verplichting wordt op grond van artikel 8.37 in de vorm van een voorschrift aan de vergunning verbonden.'

Een CO₂-leiding wordt gezien als een milieubelastende activiteit als ze een uitwendige diameter heeft van minimaal 70 mm of een binnendiameter van minimaal 50 mm en een druk van minimaal 16 bar (paragraaf 3.4.3. Bal). Buisleidingen onder de Noordzee vallen hier echter niet onder. Voor de CO₂-leidingen gelden algemene rijksregels (paragraaf 4.108 Bal).

Het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) geeft aan dat CO₂-leidingen die voldoen aan het hierboven gestelde leidingen van nationaal belang zijn (paragraaf 5.1.6.3), waarvoor het plaatsgebonden risico en het aandachtsgebied berekend moeten worden (bijlage VII, onderdeel D2).

Documentatie:

- > Rijkswaterstaat (2020). [Samenloop Omgevingswet en Mijnbouwwet in kaart gebracht](#).
- > AKD Lawyers (2020). [Onderzoek Samenloop Mijnbouwwet en Omgevingswet](#).
- > [Milieuregels](#) voor het afvangen van CO₂ in een ondergrondse opslag.
- > [Milieuregels](#) voor mijnbouw in het Bal.

⁵ De wijzigingen hebben betrekking op financiële zekerheid en op het aanpassen van het vergunningsstelsel voor het opsporen en winnen van aardwarmte.

3 Vergunningverlening

3.1 Bevoegd gezag

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is bevoegd gezag voor CO₂-leidingen waar het de naleving van het Bevb betreft. Gemeenten hebben een rol bij het vaststellen van bestemmingsplannen en zijn in dat kader het bevoegd gezag. Er zijn daarnaast gemeenten die vergunningen verlenen op grond van de Algemene Plaatselijke Verordening (APV). Het Bevb legt een link tussen het wijzigen van het risico van een buisleiding enerzijds en ruimtelijke plannen anderzijds. Als het risico groter wordt, heeft de leidingeigenaar mogelijk een omgevingsvergunning nodig; het is aan de gemeente om dit te beoordelen.

Provincies en het Rijk kunnen bij bepaalde ruimtelijke plannen bevoegd gezag zijn. Het opslaan van CO₂ wordt in Nederland gezien als een project van nationaal belang. Besluitvorming hierover wordt gecoördineerd door de Rijksoverheid via de Rijks Coördinatie Regeling (RCR). Onder de RCR valt ook het coördineren van het Milieueffectrapport (MER). Provincies, gemeenten en de waterschappen blijven bevoegd gezag bij verschillende vergunningsaanvragen en bestemmingsplanwijzigingen.

De RCR kan ook op delen van CO₂-projecten van toepassing zijn. In het afgeblazen ROAD-project beperkte de RCR zich tot het transport en de opslag van CO₂. De provincie Zuid-Holland was bijvoorbeeld het coördinerend bevoegd gezag voor de besluitvorming over de CO₂-afvang en de daar bijhorende MER.

Documentatie:

- > [Website](#) van Europa Decentraal over CO₂-opslag.
- > [Publicatie](#) van diverse ministeries over het ROAD-project op de Maasvlakte.

3.2 Meldingen, vergunningen en ontheffingen

Het proces van vergunningverlening voor CCS-projecten is complex, omdat een veelheid aan vergunningen en ontheffingen nodig is die bij diverse overheden aangevraagd moeten worden. Ook zal vaak sprake zijn van meldingen die gedaan moeten worden. Om die reden zijn de afgelopen jaren diverse documenten opgesteld waarin het proces van vergunningverlening voor CCS-projecten beschreven en uitgewerkt wordt.

Voor het aanleggen van een CO₂-leiding is een vergunning nodig van EZK. De leiding moet voldoen aan de eisen die in art. 93 van het Mijnbouwbesluit gegeven worden. Dit kan bereikt worden door te voldoen aan NEN 3650 (Eisen voor buisleidingsystemen), NEN 3651 (Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken) en NEN 3654 (Wederzijdse beïnvloeding van buisleiding en hoogspanningssysteem). Daarnaast heeft DNV een standaard ontwikkeld voor het ontwerp, de aanleg en het in werking hebben van een CO₂-leiding.

Het Nederlandse Normalisatie Instituut (NEN) is bezig een nieuwe normcommissie op te richten om gezamenlijk afspraken te maken op het gebied van CCS en CCU. Deze afspraken kunnen nationaal en internationaal worden ingebracht.

Documentatie:

- > CATO2 (2012). [Permitting needs for CCS operations in the Netherlands](#).
- > CATO2 (2014). [Guidance on CCS permitting, including description of Permitting Guidance Tool](#).
- > RoyalHaskoningDHV (2019). [Concept - Notitie Reikwijdte en Detailniveau - Rotterdam CCUS Project \(Porthos\)](#).
- > Nederlandse Olie- en Gaspartaal (NLOG, z.d.). [Procedures vergunningen](#).
- > [Vergunning van EZK](#) voor de aanleg van een CO₂-leiding van een compressorstation naar de Noordzee.
- > DNVGL (2021). [DNV-RP-F104 Design and operation of carbon dioxide pipelines - Recommended practice](#).
- > NEN (2021). [Bijeenkomst over normen voor afvang en hergebruik of opslag van CO₂](#).
- > RvO (2021). [Porthos Transport en opslag van CO₂ - fase 1](#)



Figuur 3.1 Afgevangen CO₂ bij afvalenergiebedrijf AVR wordt opgehaald en getransporteerd naar glastuinbouwbedrijven. (foto: Hollandse Hoogte)

4 Beperken van gevaren

CO₂ wordt formeel niet gezien als een gevaarlijke stof. Het innemen of inademen van kleine hoeveelheden CO₂ is niet gevaarlijk; we ademen iedere dag CO₂ in, omdat het van nature aanwezig is in de lucht en we krijgen CO₂ binnen bij het nuttigen van koolzuurhoudende frisdranken. Onder bepaalde omstandigheden kan CO₂ echter wel een gevaarlijke stof zijn en dat is wanneer het in grote hoeveelheden vrijkomt of wanneer het vrijkomt in een besloten ruimte. Dit hoofdstuk beschrijft de eigenschappen en gevaren van CO₂ en de maatregelen die genomen kunnen worden om de kans op en de effecten van het vrijkomen van grote hoeveelheden CO₂ te voorkomen en te beperken.

4.1 Gevaren

CO₂ brengt de volgende gevaren met zich mee:

- > Gasvormig CO₂ is kleur- en geurloos en wordt daarom niet waargenomen.
- > Langdurige blootstelling aan concentraties van meer dan 10 vol.% kan leiden tot verstikking door verdringing van zuurstof. Symptomen bij blootstelling aan CO₂ zijn onder andere hoofdpijn, misselijkheid, duizeligheid, rusteloosheid, moeite met ademen en zweten.

De interventiewaarden voor 1 uur blootstelling aan CO₂ zijn 50.000 mg/m³ voor de alarmeringsgrenswaarde (AGW) en 100.000 mg/m³ voor de levensbedreigende waarde (LBW). Dit komt overeen met 27.300 ppm of 2,7 vol.% CO₂ voor de AGW en 54.600 ppm of 5,46 vol.% CO₂ voor de LBW. Voor CO₂ is geen voorlichtingsrichtwaarde afgeleid. In het Porthos-project heeft men voor het bepalen van de 1%-letaliteitscontour gerekend met een concentratie van 6,9 vol.% CO₂ voor een blootstelling van 5 minuten.

- > Eén liter vloeibaar CO₂ geeft bij verdamping ongeveer 550 liter gasvormig CO₂. Hierdoor bestaat in besloten ruimtes kans op verstikking.
- > Het risico op verstikking is in laag gelegen gebieden of ruimten groter, omdat CO₂ zwaarder is dan lucht.
- > Bevriezingsverschijnselen bij huidcontact met vloeibaar of vast CO₂. Vast CO₂ ('CO₂-sneeuw') ontstaat wanneer gasvormig CO₂ snel ontsnapt en afkoelt.

Incidenten met CO₂:

- > 1986 Nyosmeer Kameroen: ruim 1700 mensen kwamen om toen 's nachts een enorme CO₂-bel vrijkwam uit een kratermeer.
- > 2008 Mönchengladbach: een lek in een CO₂-brandblussysteem zorgde er voor dat 17 mensen in het ziekenhuis moesten worden opgenomen en dat tankautospuiten uitvielen door gebrek aan zuurstof.

Documentatie:

- > RIVM (2021). [Probit function technical support document](#).
- > Health and Safety Executive (HSE, 2020). [General hazards of Carbon Dioxide](#).

4.2 Risicobeheersing

Het vrijkomen van grote hoeveelheden CO₂ kan plaatsvinden bij het afvangen, transporteren en opslaan van CO₂. Van deze drie fasen in de CCS-keten is opslag van CO₂ voor deze kennisbundel minder relevant, omdat dit op zee plaatsvindt. Een beperkte lekkage van CO₂ zal weinig gevaar opleveren.

Er is geen consensus welke CO₂-concentratie als gevaarlijk gezien moet worden. Dit is terug te zien in de grote verschillen in effectafstanden die in diverse rapporten worden genoemd. Duidelijk is wel dat grote hoeveelheden CO₂ vooral gevaarlijk zijn als ze vrijkomen bij lage druk, waardoor er onvoldoende impuls is voor een menging met de lucht. Deze situatie zal zich bij buisleidingen niet snel voordoen, omdat CO₂ onder hoge druk vervoerd wordt. In hoeverre gevaarlijke CO₂-concentraties bereikt kunnen worden, is in grote mate afhankelijk van de omstandigheden zoals de diameter en de druk van de leiding, gatgrootte, uitstroomrichting en weersomstandigheden.

In de literatuur wordt aangegeven dat onder de volgende omstandigheden CO₂-uitstroom met weinig impuls (massa × snelheid) mogelijk is:

- > Horizontale uitstroom vanuit een ondergronds gelegen CO₂-buisleiding waardoor CO₂ botst met de aarde rondom de buisleiding.
- > Guillotinebreuk van een CO₂-leiding waarbij de CO₂-stromen uit beide leidingdelen tegen elkaar botsen.
- > De aanwezigheid van obstakels in de uitstromende CO₂-flow, bijvoorbeeld gebouwen of bomen.
- > Extreem snelle sublimatie van vast CO₂ dat gevormd is na de uitstroom van superkritisch CO₂.
- > Drukval in de installatie nadat de uitstroming begonnen is.

Mogelijke gevaren bij CO₂-leidingen zijn:

- > vrijkomen van CO₂ door graafschade
- > vrijkomen van CO₂ door corrosie.

Mogelijke maatregelen om een ongewenste uitstroom van CO₂ uit leidingen te voorkomen, zijn:

- > Graafschade voorkomen, bijvoorbeeld door het doen van een KLIC-melding⁶, het plaatsen van waarschuwingsslint en beschermplaten, het afsluiten van een beheerovereenkomst tussen leidingbeheerder en grondeigenaar, het plaatsen van een hekwerk langs (delen van) de leiding, het ophogen van de hoeveelheid grond boven een bestaande leiding of het dieper leggen van een nieuwe leiding, strikte begeleiding van graafwerkzaamheden en cameratoezicht.
- > Corrosie voorkomen, bijvoorbeeld door onzuiverheden in het afgevangen CO₂ en de aanwezigheid van vocht in de leiding te voorkomen.

Documentatie:

- > RIVM (2021). [Handleiding Risicoberekeningen Bevb versie 3.2 – Module C.](#)
- > Scenarioboek Externe veiligheid (2018). [Kooldioxide buisleiding – Giftige wolk.](#)
- > Koomreef, J.M. (2010). [Shifting Streams - On the Health, Safety and Environmental Impacts of Carbon Dioxide Capture, Transport and Storage.](#) Proefschrift Universiteit Utrecht. Tabel 6 in dit proefschrift geeft een overzicht van effectafstanden onder diverse omstandigheden.

⁶ KLIC staat voor Kabels en Leidingen Informatiecentrum.

4.3 Incidentbestrijding

Bij het vrijkomen van grote hoeveelheden CO₂ uit een buisleiding kunnen hulpverleners geen offensieve buiteninzet doen zolang de toevoer van CO₂ niet gestopt is. Als een inzet van hulpverlenende diensten nodig is, zijn persoonlijke beschermingsmiddelen (ademplucht) op zekere afstand vanaf de buisleiding nodig, bijvoorbeeld bij het bepalen van het veilige gebied door meetploegen. Via de meldkamer kunnen hulpverleners bij KLIC een calamiteitenmelding doen om informatie over de buisleiding op te vragen.

Een leiding van OCAP is in 2018 bij graafwerkzaamheden lek geraakt. Het CO₂ dat hierbij vrij kwam, bleef laag bij de grond en hoopte zich op bij nabijgelegen parkeerplaatsen. Het duurde uren voordat de leiding was ingeblokt en voordat het CO₂ uit de leiding verdwenen was.

Hulpverleners kunnen te maken krijgen met de aanwezigheid van CO₂ in besloten ruimtes. Belangrijke maatregelen bij het naderen of betreden van een ruimte die gevuld kan zijn met CO₂, zijn:

- > het dragen van adembescherming en het gebruiken van CO₂-meters
- > de ruimte ventileren en mensen in de directe omgeving evacueren
- > verspreiding van CO₂ naar laaggelegen ruimtes voorkomen (riolen, kelders, werkputten enzovoort).

Documentatie:

- > Brandweer Nederland (2021). [Aandachtskaart CO₂ \(grootschalig gebruik\)](#).
- > Lindegas (2020). [Safety advise carbon dioxide](#).
- > IFV (2018). [Handreiking voorbereiding bestrijding Buisleidingincidenten](#).
- > Brandweer Nederland (2021). [Casus: Lekkage van een OCAP CO₂-leiding](#)

5 Overige informatie

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van rapporten en websites die nog niet genoemd zijn in dit document, maar mogelijk wel interessant zijn voor de lezer.

- > Energiebeheer Nederland (EBN, 2017). [Transport en opslag van CO₂ in Nederland](#). Utrecht: EBN en Gasunie.
- > Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ, 2008). [Schwerer Gas-Unfall mit über hundert Verletzten](#).
- > Global CCS Institute (2021). [The Global Status of CCS in 2021](#).
- > Inspectie Leefomgeving en Transport (ILenT, 2013). [Mogelijke gezondheidseffecten van alternatieve energiebronnen](#). Den Haag: Inspectie Leefomgeving en Transport.
- > Lamboo, S. et al (2020). [Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en -opslag \(CCS\)](#). Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- > Linde (2010). [Werken met CO₂](#). Schiedam: Linde Gas Benelux B.V.
- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2018). [Structuurvisie Ondergrond in het kort](#).
- > Port of Rotterdam CO₂ Transport Hub and Offshore Storage (Porthos, 2021). [CO₂-reductie door opslag onder de Noordzee](#).
- > Trouw (2010). [Chronologie CO₂-opslag Barendrecht](#)